

CERTIFICATE OF HAND DELIVERY

I hereby certify that this correspondence is being hand filed with the United States Patent and Trademark Office in Washington, D.C. on April 25, 2000.

  
Jinrong Li

jc525-U.S. PTO  
09/557961  
04/25/00

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In the application of:

Kunihiro TAKATANI

Serial No.: to be assigned

Filing Date: April 25, 2000

For: ELECTRODE STRUCTURE ON P-  
TYPE III GROUP NITRIDE  
SEMICONDUCTOR LAYER AND  
FORMATION METHOD THEREOF

Examiner: to be assigned

Group Art Unit: to be assigned

#5/Priority  
Papers  
R. Tyson  
10/7/00

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119, applicant hereby claims the benefit of the filing of Japanese patent application No. 11-117775, filed April 26, 1999.

The certified priority document is attached to perfect applicant's claim for priority.

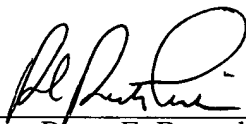
It is respectfully requested that the receipt of the certified copy attached hereto be acknowledged in this application.

In the event that the transmittal letter is separated from this document and the Patent and Trademark Office determines that an extension and/or other relief is required, applicant petitions  
dc-204629

for any required relief including extensions of time and authorizes the Assistant Commissioner to charge the cost of such petitions and/or other fees due in connection with the filing of this document to **Deposit Account No. 03-1952**. However, the Assistant Commissioner is not authorized to charge the cost of the issue fee to the Deposit Account.

Dated: April 25, 2000

Respectfully submitted,

By:   
Barry E. Bretschneider  
Registration No. 28,055

Morrison & Foerster LLP  
2000 Pennsylvania Avenue, N.W.  
Washington, D.C. 20006-1888  
Telephone: (202) 887-1545  
Facsimile: (202) 887-0763

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年 4月26日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第117775号

出 願 人

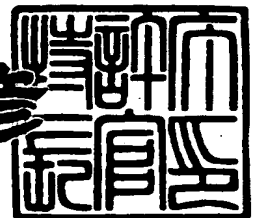
Applicant(s):

シャープ株式会社

2000年 3月 3日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特2000-3012484

【書類名】 特許願

【整理番号】 1981075

【提出日】 平成11年 4月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

    【氏名】 高谷 邦啓

【特許出願人】

    【識別番号】 000005049

    【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

    【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100064746

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 深見 久郎

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 008693

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 9106002

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 p 型の I I I 族窒化物半導体層上の電極構造とその形成方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 p 型の I I I 族窒化物半導体層上の電極構造であって、前記半導体層上に順次積層された第 1、第 2 および第 3 の電極層を含み、

前記第 1 電極層は T i、H f、Z r、V、N b、T a、C r、W、および S c からなる第 1 金属グループから選択された少なくとも 1 種類を含み、

前記第 2 電極層は N i、P d、および C o からなる第 2 金属グループから選択された少なくとも 1 種類を含み、

前記第 3 電極層は A u を含むことを特徴とする電極構造。

【請求項 2】 前記第 1 電極層の厚さが 1 ～ 5 0 0 n m の範囲内にあることを特徴とする請求項 1 に記載の電極構造。

【請求項 3】 前記第 2 電極層の厚さが 5 n m 以上であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の電極構造。

【請求項 4】 前記第 3 電極層の厚さが 5 0 n m 以上であることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかの項に記載の電極構造。

【請求項 5】 前記第 1 電極層は前記第 1 金属グループに含まれる金属の窒化物を含むとともに前記第 2 金属グループに含まれる金属と G a との化合物をも含むことを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれかの項に記載の電極構造。

【請求項 6】 p 型の I I I 族窒化物半導体層上の電極構造の形成方法であって、

T i、H f、Z r、V、N b、T a、C r、W、および S c からなる第 1 金属グループから選択された少なくとも 1 種類を含む第 1 電極層を前記半導体層上に堆積し、

N i、P d、および C o からなる第 2 金属グループから選択された少なくとも 1 種類を含む第 2 の電極層を前記第 1 電極層上に堆積し、

A u を含む第 3 の電極層を前記第 2 電極層上に堆積する工程を含むことを特徴とする電極構造の形成方法。

【請求項 7】 前記第 1 から第 3 の電極層が堆積された後に N<sub>2</sub> 雰囲気中、

A r 雰囲気中、または真空中で 3 0 0 ~ 7 0 0 ℃ の範囲内の温度のもとで前記電極構造を熱処理する工程をさらに含むことを特徴とする請求項 6 に記載の電極構造の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、たとえば半導体レーザダイオードに代表されるような I I I 族窒化物半導体装置における電極構造の改善に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

I I I 族窒化物半導体であって、たとえば  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  (ただし、 $x + y + z = 1$ 、 $0 \leq x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $0 \leq z < 1$ ) で表わされる G a N 系化合物半導体は、大きなエネルギーバンドギャップや高い熱的安定性を有し、またその組成を調節することによってバンドギャップ幅を制御することも可能である。したがって、G a N 系半導体は、発光素子や高温デバイスをはじめとして、さまざまな半導体デバイスに応用可能な材料として期待されている。なかでも、G a N 系材料を用いた発光ダイオード (LED) では、青から緑の光波長域で数 c d 級の光度を有するデバイスが既に開発されて実用化されている。今後はさらに、長波長の光用の LED を得て、LED ディスプレイをフルカラー化することや、G a N 系材料を用いたレーザダイオード (LD) の実用化が、研究開発の目標になりつつある。

【0 0 0 3】

図 7 は、G a N 系材料を用いた半導体デバイスにおいて、従来から用いられている p 型電極の構造を模式的な断面図で示している。この p 型電極においては、p 型 G a N からなるコンタクト層 5 0 1 上に N i の金属層 5 0 2 を堆積して窒素雰囲気中で 5 0 0 ℃ において 1 0 分間アニールすることによって、G a N 層 5 0 1 と N i 層 5 0 2 との拡散反応による中間層 5 0 4 が形成されている。N i 層 5 0 2 上には、さらに、ワイヤボンディングまたはデバイスの装着のための表面電極層 5 0 3 が積層されている。この表面電極層 5 0 3 の材料としては、A u など

が用いられる場合が多い。

【0004】

このような電極構造において、中間層 504 は、p 型 GaN 層 501 と Ni 層 502 が直接接触した場合に界面に生じるショットキー障壁を緩和させる効果をもたらす。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、図 7 に例示されているような従来技術による p 型 GaN 系コンタクト層上の p 型電極においては、そのオーミック特性に不安定性があり、比コンタクト抵抗値も比較的高くて約  $10^{-2} \Omega / \text{cm}^2$  程度の範囲内にあるという課題がある。たとえば、半導体レーザの p 型電極に必要とされる比コンタクト抵抗値は約  $10^{-3} \Omega / \text{cm}^2$  程度以下であり、これを従来技術で達成することは困難である。

【0006】

そこで本発明者が従来技術による p 型電極構造を詳細に検討した結果、図 7 において形成される中間層 504 の主な成分は Ga と Ni の化合物からなることがわかった。

【0007】

また、中間層 504 の特性は、GaN 層 501 の表面状態、その GaN 層 501 と Ni 層 502 との間の界面反応の進行具合、さらにはアニール温度などによって影響を受けやすく、そのような中間層 504 を含む p 型電極では安定した一定の電極特性を得ることが困難であることも明らかになった。特に、中間層 504 の形成が不十分な場合には、p 型電極と p 型 GaN コンタクト層 501 との間の密着強度に著しい低下を生じ、半導体デバイスをステムなどと電気的に連結するためのワイヤボンディング時に電極の剥がれが頻発することもわかった。

【0008】

さらに、中間層 504 の内部には、主要成分としての Ga と Ni の化合物以外に Ni と N の化合物も形成されていることもわかった。この Ni と N の化合物のための N の供給源は、p 型 GaN 層 501 である。すなわち、GaN 層 501 中

のN原子が中間層504中に吸出され、p型GaN層501の表面近傍が高抵抗層（またはn型層）に変質し、その結果としてp型電極構造の高抵抗化を引起すことも明らかになった。

【0009】

本発明者が明らかにした上述のような先行技術における課題に鑑み、本発明は、p型のIII族窒化物半導体層上で安定した低抵抗と高い密着強度を有する電極構造を高い歩留まりで提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明によれば、p型のIII族化合物半導体層上の電極構造は、半導体層上に順次積層された第1、第2および第3の電極層を含み、第1電極層はTi、Hf、Zr、V、Nb、Ta、Cr、W、およびScからなる第1金属グループから選択された少なくとも1種類を含み、第2電極層はNi、Pd、およびCoからなる第2金属グループから選択された少なくとも1種類を含み、そして第3電極層はAuを含むことを特徴としている。

【0011】

このような電極構造において、第1電極層に含まれるたとえばTiはたとえばn型GaN層に対するn型電極構造において用いられてきた金属であり、p型GaN層上にTi層を単体で形成すれば、それはショットキー電極としてふるまう。しかし、たとえばNiを含む第2電極層とp型GaN層との界面に第1電極層としてTiを均一に少量用いることによって、この少量のTiがほとんどショットキー効果を生じることなく界面反応促進剤として作用することが明らかになった。

【0012】

その結果、p型電極構造において、良好なオーミックコンタクトを得るために施されるアニール温度が従来に比べて100～200℃程度低温化され得るとともに、小さな比コンタクト抵抗値と高い密着強度が得られることがわかった。

【0013】

第1電極層の厚さは1～500nmの範囲内にあり、第2電極層の厚さは5n



m以上であり、そして第3電極層の厚さが50nm以上であることが好ましい。

【0014】

オーミック化の熱処理の後において、第1電極層は第1金属グループに含まれる金属の窒化物を含むとともに、第2金属グループに含まれる金属とGaとの化合物をも含んでいる。

【0015】

本発明によればまた、p型のIII族窒化物半導体層上の電極構造の形成方法において、Ti、Hf、Zr、V、Nb、Ta、Cr、W、およびScからなる第1金属グループから選択された少なくとも1種類を含む第1電極層を半導体層上に堆積し、Ni、Pd、およびCoからなる第2金属グループから選択された少なくとも1種類を含む第2の電極層を第1電極層上に堆積し、そしてAuを含む第3の電極層を第2電極層上に堆積する工程を含んでいることを特徴としている。

【0016】

こうして第1から第3の電極層が堆積された後に、その電極構造は、N<sub>2</sub>雰囲気中、Ar雰囲気中、または真空中で300～700℃の範囲内の温度のもとでオーミック化のために熱処理される。

【0017】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態の具体例として以下の実施例1と2が試みられるとともに、それらに関連する事項も検討された。実施例1はp型GaNコンタクト層上に順次積層されたTi層、Ni層、およびAu層を含むAu/Ni/Ti電極構造に関するものであり、実施例2はNi層の代わりにPd層を用いたAu/Pd/Ti電極構造に関するものである。

【0018】

(実施例1)

図1の模式的な断面図を参照して、まず、任意の半導体デバイスに含まれるp型のIII族窒化物半導体のコンタクト層101として、サファイア基板上にp型GaN層が形成された。このp型GaN層101を形成するために、有機金属

気相成長 (MOCVD) 法によって、MgをドーブしたGa<sub>2</sub>N層がエピタキシャル成長させられた。Ga<sub>2</sub>N層101には $10^{19}/\text{cm}^3$ のMgが添加されており、N<sub>2</sub>雰囲気下でのアニールによるp型化処理後に、p型Ga<sub>2</sub>N層101は $1.5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のキャリア濃を示した。

## 【0019】

その後、サファイア基板は電子ビーム (EB) 真空蒸着装置内に配置され、p型Ga<sub>2</sub>Nコンタクト層101上の第1、第2および第3の電極層102、103、104として、厚さ5nmのTi層、厚さ15nmのNi層、および厚さ200nmのAu層がそれぞれ堆積された。

## 【0020】

最後に、サファイア基板上の電極構造全体をN<sub>2</sub>雰囲気下において約400℃でアニールすることによって、第1実施例による電極構造が完成させられた。

## 【0021】

図2において、本発明を利用して完成された電極構造が模式的な断面図で示されている。実施例1において400℃でアニールされた後の電極構造を詳細に調べたところ、サファイア基板上では下から順にp型Ga<sub>2</sub>N層101、TiN化合物とNiGa化合物との混合物層102A、Ni層103、そしてAu層104からなっていることが明らかになった。他方、400℃でのアニール前の電極断面構造では、TiN化合物とNiGa化合物はほとんど検出されなかった。このことから、これらTiNとNiGaの2種類の化合物は、400℃におけるオーミック化アニール工程中の反応によって形成されているものであると考えられる。

## 【0022】

前述のように、従来の電極構造においてp型Ga<sub>2</sub>N層501とNi層502との間に形成されるNiN化合物は、その電極構造の高抵抗化や不安定性の要因となる。しかし、実施例1においてはオーミック化の最終アニール前にTi層102が存在しているので、その最終アニールの初期において、まずp型Ga<sub>2</sub>N層101とTi層102との間でTiN化合物が形成される。このTiN化合物のためのNは主としてp型Ga<sub>2</sub>N層101から供給されるので、Ga<sub>2</sub>N層101の表

面はGaが過剰な状態になっている。そして、過剰になったフリーのGaとNi層103からのNiとが直接反応することによって、混合物層102A中のNiGa化合物が形成される。このような反応過程を経ることによって、実施例1ではp型GaN層101の表面の化学量論的組成比を損なうことなく、そしてNiN化合物の形成に伴う高抵抗層（またはn型層）を形成することなく、p型GaNコンタクト層101と金属電極との間のオーミック化反応を促進させることができると考えられる。

## 【0023】

ところで、TiとNは相互に高い反応性を有しているので、上述の混合物層102Aに含まれているTiN化合物は、図7におけるようなGaN層501とNi層502との反応によって生じるNiGa化合物層504と比較して、より低温のアニールによって生じる。そして、TiによってNが奪われてフリーになったGaの存在下において、NiGa化合物の形成反応も、NiがGaとNとの結合を切ってGaと反応するに要する温度より低いアニール温度で生じやすくなる。すなわち、実施例1の電極構造がオーミック性を得るために必要とされるアニールは、図7に示された従来の電極構造に比べて低温で行なうことが可能である。

## 【0024】

図3は、このような事実を立証するグラフである。このグラフにおいて、横軸のアロイ温度（℃）は電極構造をオーミック化するためのアニール温度を表わし、縦軸のコンタクト抵抗（ $\Omega/\text{cm}^2$ ）はオーミック化処理後の抵抗を表わしている。

## 【0025】

図3から理解されるように、従来のAu/Ni電極構造においては黒丸印で表わされているように300℃のアニール温度からGaN層501とNi層502との界面反応によるコンタクト抵抗の低下が生じ始めるのに対し、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造では白丸印で表わされているように200℃のアニール温度からコンタクト抵抗の低下が開始しており、従来より低温でGaN層101とNi層103との反応が生じ始めていることがわかる。このように比較的低温

のアニールによってオーミック化され得ることは、電極製造プロセス中の温度制御精度の向上やそのプロセスの簡便化を可能にし、生産工程上で非常に有益な利点となる。

#### 【0026】

同じく図3からわかるように、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造は、従来のAu/Ni電極構造に比べて、300～600℃のアニール温度範囲内で小さなコンタクト抵抗を有している。また、最小のコンタクト抵抗の得られるアニール温度についても従来のAu/Ni電極構造では500℃であるのに対して、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造ではそれより低い400℃である。これらの理由としては、実施例1ではTi層102が介在するので、従来の電極構造で見られたGaN層501の表面における化学量論的組成比のずれやNiN化合物の生成に起因する高抵抗層（またはn型層）の形成が抑制された効果によると考えられる。

#### 【0027】

図4は、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造において、Ti層102とNi層103のそれぞれの厚さを種々に変化させてアニール処理した後のオーミック性を判定した結果を示している。この図4のグラフにおいて、横軸はTi層102の膜厚（nm）を表わし、縦軸はNi層103の膜厚（nm）を表わしている。黒丸印はAu/Ni/Ti電極において従来のAu/Ni電極より小さなコンタクト抵抗が安定して得られた場合を表わし、×印は従来に比べて明らかな改善効果が得られなかった場合を示している。

#### 【0028】

図4に示されているように、Ti層102の膜厚に関しては、それが約1～500nmの範囲内にある場合に、Au/Ni/Ti電極構造において従来のAu/Ni電極構造に比べて小さなコンタクト抵抗が安定して得られた。しかし、Ti層102が1nmより薄くてたとえば0.5nmの場合、Au/Ni/Ti電極構造のアニール後のコンタクト抵抗は、従来のAu/Ni電極構造に比べてほとんど改善されなくなった。これは、Ti層102が薄すぎるために、GaN層101との界面反応においてTiN化合物を形成するための絶対量が不足し、N

i 層 103 からの Ni と GaN 層 101 との間の反応が支配的になるためと考えられる。他方、Ti 層 102 が 500 nm より厚い場合には、Au/Ni/Ti 電極構造はアニールの温度を高くしたり時間を長くしてもオーミック特性を示さず、ショットキー特性しか示さなかった。これは、Ti 層 102 が厚すぎるために Ni 層 103 と GaN 層 101 とが完全に遮断され、Ni が反応に寄与し得ないためであると考えられる。

#### 【0029】

Ni 層 103 の膜厚に関しては、それが約 5 nm 以上の場合に、Au/Ni/Ti 電極構造において従来の Au/Ni 電極構造に比べて小さいコンタクト抵抗が安定して得られた。しかし、Ni 層 103 が 5 nm より薄くてたとえば 1 nm の場合、Au/Ni/Ti 電極構造はアニール後においてもオーミック特性が不十分であった。これは、Ni 層 103 の厚さが十分でないために、Au 層 104 から Ni 層 103 を貫通して Au が Ti 層 102 まで熱拡散によって達してしまうためであると考えられる。他方、Ni 層 103 の膜厚の上限に関しては、それを 1  $\mu$ m 程度まで厚くしても Au/Ni/Ti 電極構造の電気的特性に対する悪影響は見られなかったが、1  $\mu$ m を超える厚さでは電極構造が少し剥がれやすくなる傾向のあることが観察された。したがって、電極構造を実際の半導体デバイスに使用するうえで重要なその密着強度を考慮すれば、Ni 層 103 の好ましい厚さの上限は約 1  $\mu$ m であると考えられる。

#### 【0030】

さらに、実施例 1 の Au/Ni/Ti 電極構造の特性をさらに詳細に調べるために、Au 層を含まない比較例としての Ni/Ti 電極構造も試作された。しかし、この Ni/Ti 電極構造は N<sub>2</sub> 雰囲気中のアニール時に Ni が雰囲気中の N と化合物を形成してしまい、良好なオーミック特性を得ることができなかった。この現象について検討した結果、Ni 層の窒化による変質を防ぐためには実施例 1 におけるように Au 層 104 を積層しておけばよく、Au 層の厚さは約 50 nm 以上であれば十分であることがわかった。

#### 【0031】

他方、Au 層 104 の厚さの上限については、電極の電気的特性からは何ら制

限がない。しかし、Au層104が約5 $\mu$ mより厚くなれば、電極のパターニングにリフトオフ工程が利用される場合にそのリフトオフの容易性が低下する。また、ワイヤボンディング工程の接着性の観点からもAu層104の厚さが5 $\mu$ mあれば十分であり、それ以上厚くしても高価なAuの使用量が増えるだけであって好ましくない。したがって、Au層104の厚さの好ましい上限は、約5 $\mu$ mであると考えられる。

#### 【0032】

さらに、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造に対する比較例としてAu/Ti/Ni電極構造とAu/(TiNi合金)電極構造も試作されたが、いずれの比較例においても実施例1におけるような良好な電気的特性を得ることができなかった。これらの事実が、図3のグラフと同様な図8と図9のグラフに示されている。

#### 【0033】

図8のグラフにおいて、白丸印と黒丸印は、それぞれ比較例のAu/Ti/Ni電極構造と従来のAu/Ni電極構造におけるコンタクト抵抗のアニール温度依存性を表わしている。このグラフに示されているように、比較例のAu/Ti/Ni電極構造は、いずれの温度によるアニール後においても、従来のAu/Ni電極構造に比べて、ほとんどコンタクト抵抗の改善をもたらさずはしない。これは、Au/Ti/Ni電極構造においても従来と同様にNi層がp型Ga<sub>0.49</sub>N<sub>0.51</sub>層に直接接触しているためその界面にNiN化合物を生成し、高抵抗の界面層が生じるからであると考えられる。

#### 【0034】

図9のグラフにおいては、黒丸印と白丸印が、それぞれ比較例のAu/(TiNi)電極構造と実施例1のAu/Ni/Ti電極構造におけるコンタクト抵抗のアニール温度依存性を表わしている。比較例のAu/(TiNi合金)電極構造においては、やはりTiNi合金層中のNiまたはNiの濃度の高い部分とp型Ga<sub>0.49</sub>N<sub>0.51</sub>コンタクト層とが部分的に直接接触反応して、NiN化合物を生成する傾向がある。したがって、比較例のAu/(TiNi合金)電極構造ではアニール後に部分的に高抵抗領域が形成され、その結果として、電極全体として平均化

したコンタクト抵抗も高くなると考えられる。

【0035】

他方、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造では、アニール前にTi層102がGaN層101の表面を覆っているので高抵抗化の要因であるNiN化合物が生成されることがなく、図9に示されているように比較例のAu/(TiNi合金)電極構造に比べて小さなコンタクト抵抗値を安定して得ることができる。すなわち、実施例1の電極構造における電気的特性の改善効果に関して、Ni層103とp型GaNコンタクト層101との間に形成されたTi層102が重要な役割を果たしていることがわかる。

【0036】

なお、実施例1において、p型GaNコンタクト層に含まれるMg濃度に関しては $1.0 \times 10^{18} \sim 1.0 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲で変化させられたが、いずれのMg濃度のp型GaNコンタクト層に対してもAu/Ni/Ti電極構造によって良好なオーミック特性を得ることができた。

【0037】

また、実施例1では電極構造のオーミック化のアニールがN<sub>2</sub>雰囲気中で行なわれたが、Ar雰囲気中または真空中でアニールされてもよい。その場合には、最適なアニール温度がN<sub>2</sub>雰囲気を用いる場合に比べて少し変化するが、従来のAu/Ni電極構造の最適アニール温度に比べて低くなることに変わりはない。

【0038】

さらに、実施例1においては、アニール時の界面反応が従来例に比べて低温でかつ温度などの条件に影響されにくくて確実に生じるので、従来の電極においてしばしば見られた界面の密着強度不足による剥がれの問題を生じることもない。

【0039】

(実施例2)

図1を参照して、実施例2においても、実施例1と同様にサファイア基板上にMgがドーピングされたp型GaNコンタクト層101が形成された。このGaNコンタクト層101上には、厚さ5nmのTi層102、厚さ30nmのPd層103、および厚さ200nmのAu層104がEB蒸着法によって堆積された。

そして、サファイア基板上の電極構造全体を $N_2$ 雰囲気下において約500℃でアニールすることによって、実施例2による電極構造が完成させられた。

#### 【0040】

図2を参照して、この実施例2によって完成した電極構造において、サファイア基板上では下から順にp型Ga<sub>2</sub>N層101、TiN化合物とPdGa化合物との混合物層102A、Pd層103、そしてAu層104からなっていることが明らかになった。なお、500℃でのアニール前の電極断面構造では、TiN化合物とPdGa化合物はほとんど検出されなかった。このことから、これらのTiNとPdGaの2種類の化合物は、500℃におけるオーミック化アニール工程中の反応によって形成されるものであると考えられる。

#### 【0041】

Ti層を含まない比較例としてのAu/Pd電極構造の場合、アニール処理後においてPd層とGa<sub>2</sub>Nコンタクト層との間にPdN化合物が形成される。このPdN化合物は、従来のAu/Ni電極構造におけるNiN化合物と同様に、電極構造の高抵抗化や不安定性の要因となる。しかし、実施例2においてはオーミック化アニールの前にTi層102が実施例1の場合と同じ役割を果たすので、p型Ga<sub>2</sub>N層101の表面の化学量論的組成比を損なうことなく、そしてPdN化合物の形成に伴う高抵抗層（またはn型層）を形成することなく、p型Ga<sub>2</sub>Nコンタクト層101と金属電極との間のオーミック化反応を促進させることができると考えられる。

#### 【0042】

図3のグラフと同様な図5のグラフにおいて、白丸印と黒丸印は、それぞれ実施例2のAu/Pb/Ti電極構造と比較例のAu/Pd電極構造におけるコンタクト抵抗のアニール温度依存性を表わしている。このグラフに示されているように、400～600℃の温度範囲において実施例2のAu/Pd/Ti電極構造は比較例のAu/Pd電極構造に比べて小さなコンタクト抵抗を有している。また、界面反応によってコンタクト抵抗が低減し始めるアニール温度に関しても、比較例のAu/Pd電極構造においては400℃からであるのに対して、実施例2のAu/Pd/Ti電極構造においては300℃からであり、約100℃だ



け低下している。このようにより低い温度のアニールによってオーミック化され得ることは、実施例 1 に関しても述べられたように、電極製造工程において非常に有益な利点となり得る。

#### 【0043】

図 4 に類似した図 6 のグラフは、実施例 2 の Au/Pd/Ti 電極構造において、Ti 層 102 と Pd 層 103 のそれぞれの厚さを種々に変化させてアニール処理した後のオーミック性を判定した結果を示している。実施例 1 の場合と同様に、実施例 2 においても、Ti 層 102 の膜厚が約 1～500 nm の範囲内にある場合に低いコンタクト抵抗が安定して得られた。Pd 層 103 の膜厚に関しては、それが約 10 nm 以上の場合に、従来に比べて低いコンタクト抵抗が安定して得られた。Pd 層 103 の膜厚の上限に関しては、1  $\mu$ m 程度まで厚くしても Au/Pd/Ti 電極構造の電気的特性に対する悪影響は見られなかったが、1  $\mu$ m を超える厚さでは、実施例 1 の場合と同様に電極構造が少し剥がれやすくなる傾向のあることが観察された。したがって、実施例 1 の場合と同様に、実施例 2 においても Pd 層 103 の好ましい厚さの上限は約 1  $\mu$ m であると考えられる。

#### 【0044】

また、Au 層を含まない比較例の Pd/Ti 電極構造も試作された。しかし、この比較例の Pd/Ti 電極構造においても、N<sub>2</sub>雰囲気中のアニール時に Pd が雰囲気中の N と化合物を形成してしまい、良好なオーミック特性を得ることができなかった。この現象について検討した結果、実施例 1 に関連して述べられたのと同様に、Pd 層の窒化による変質を防ぐためには Au 層を積層しておけばよく、その Au 層の厚さは約 50 nm であれば十分であることがわかった。また、Au 層の厚さの上限については、実施例 1 に関連して述べられたのと同様の理由によって、約 5  $\mu$ m 以下であることが好ましいと考えられる。

#### 【0045】

なお、実施例 1 の場合と同様に、実施例 2 においても p 型 GaN コンタクト層に含まれる Mg の濃度が  $1.0 \times 10^{18} \sim 1.0 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  の範囲で変化させられたが、いずれの Mg 濃度の p 型 GaN コンタクト層に対しても Au/P

d / T i 電極構造によって良好なオーミック特性を得ることができた。

【0046】

また、実施例 1 の場合と同様に、上述の実施例 2 の電極構造のオーミック化のアニールは N<sub>2</sub> 雰囲気中で行なわれたが、A r 雰囲気中または真空中でアニールされてもよい。その場合にも、最適なアニール温度が N<sub>2</sub> 雰囲気を用いる場合に比べて少し変化するが、比較例の A u / P d 電極構造の最適アニール温度に比べて低くなることに変わりはない。

【0047】

さらに、実施例 1 の場合と同様に実施例 2 においても、アニール時の界面反応が従来例に比べて低温でかつ温度などの条件に影響されにくくて確実に生じるので、従来の電極においてしばしば見られた界面の密着強度不足による剥がれの問題を生じることもない。

【0048】

(関連事項の検討)

上述の実施例 1 と 2 の電極構造を A l G a I n N 系半導体レーザ素子に適用したところ、従来の電極構造に比べて電極部における電圧降下を低く抑えることができ、半導体レーザ素子全体の消費電力を低減し得ることが確認された。たとえば、5 μ m のストライプ幅と 5 0 0 μ m の共振器長の寸法を有する半導体レーザに実施例 1 の A u / N i / T i 電極と従来の A u / N i 電極を適用した場合、2 0 m A 通電時の電極部における電圧降下はそれぞれ約 0 . 8 V と約 4 V であり、本発明による優れた効果を明確に確認することができた。また、実施例 2 におけるように N i 層の代わりに P d 層を用いることによってコンタクト抵抗のより抵抗化を図ることができ、それに伴って半導体レーザ素子の電極部分における電圧降下もさらに低減し得ることが確認された。

【0049】

なお、実施例 2 においては T i の第 1 金属層 1 0 2 上に P d の第 2 金属層 1 0 3 が積層されているが、これは、実施例 1 に関連して述べられたように、本発明において特徴的な P d G a 化合物と T i N 化合物との混合層 1 0 2 A を効率よく形成するために必要な構成である。すなわち、積層構造が A u / T i / P d また

はAu/(TiPd合金)であっても、本発明の特徴である低いコンタクト抵抗率が得られなくなる。

【0050】

また、上述の実施例1と2ではp型GaNコンタクト層と直接接する第1金属層102としてTiが用いられたが、さらに検討した結果、TiのみならずHf、Zr、V、Nb、Ta、Cr、W、Scなどの金属単体またはこれらの合金を用いてもTiと同様の効果が得られることがわかった。

【0051】

さらに、第1金属層102上に積層される第2金属層としてCoを選択したAu/Co/Ti電極構造についても検討したが、実施例1および2の場合と同様に、Ti層を含まないAu/Co電極構造に比較して優れた電気的特性および密着性が得られることも確認された。

【0052】

さらにまた、実施例1と2では各金属層の堆積にEB蒸着法が用いられたが、金属層の堆積法に関しては、スパッタリング法やCVD法のように他の方法が用いられてもよいことは言うまでもない。

【0053】

【発明の効果】

以上のように、本発明の電極構造によれば、p型GaNコンタクト層に対する電極構造の高抵抗化要因を抑制して低抵抗で良好なオーミック特性を有する電極構造を実現することができるとともに、コンタクト層と電極構造との間の密着強度も改善され、半導体デバイスの生産歩留まりを大幅に向上させることができる。また、本発明の副次的な効果として、電極構造のオーミック化に必要なアニール温度を従来に比べて低くすることができるので、半導体デバイスの製造プロセスにおける簡便化や制御の容易化に大きく貢献することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の電極構造において、III族窒化物半導体コンタクト層上に複数の金属層が堆積された直後の状態を示す模式的な断面図である。

【図 2】

本発明の電極構造において、オーミック化アニール処理後の状態を示す模式的な断面図である。

【図 3】

実施例 1 による電極構造のオーミック化アニールとしてのアロイ温度とコンタクト抵抗の関係を示すグラフである。

【図 4】

実施例 1 の電極構造において、Ti 層と Ni 層の好ましい厚さ範囲を示すグラフである。

【図 5】

実施例 2 による電極構造において、オーミック化アロイ温度とコンタクト抵抗との関係を示すグラフである。

【図 6】

実施例 2 による電極構造において、Ti 層と Pd 層の好ましい厚さ範囲を示すグラフである。

【図 7】

従来の電極構造において、オーミック化熱処理後の状態を示す模式的な断面図である。

【図 8】

比較例の Au/Ti/Ni 電極構造と従来の Au/Ni 電極構造におけるオーミック化アロイ温度とコンタクト抵抗との関係を示すグラフである。

【図 9】

比較例の Au/(TiNi 合金) 電極構造におけるオーミック化アロイ温度とコンタクト抵抗との関係を実施例 1 との対比において示すグラフである。

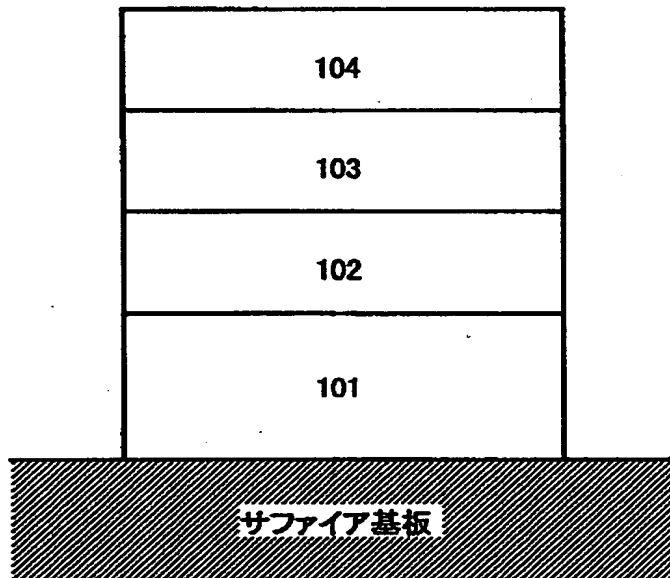
【符号の説明】

- 101 Mg がドーピングされた p 型 GaN コンタクト層
- 102 第 1 金属層
- 102A オーミック化熱処理後の混合層
- 103 第 2 金属層

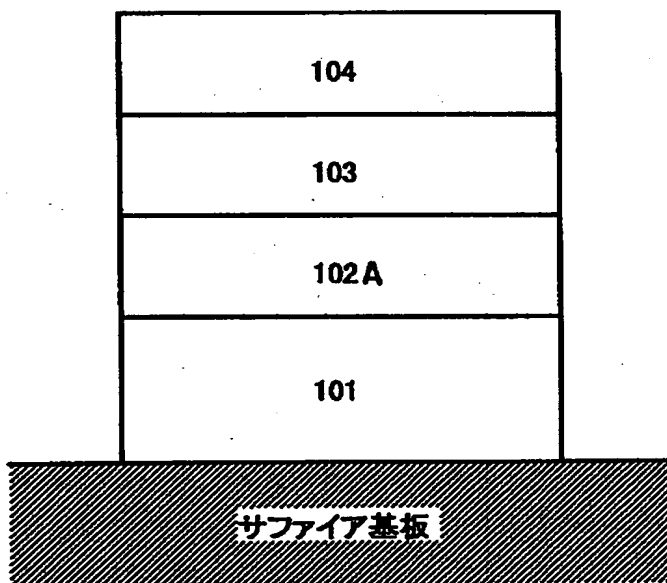
- 104 第3金属層
- 501 p型Ga<sub>N</sub>コンタクト層
- 502 Ni層
- 503 Au層
- 504 Ga<sub>N</sub>iとNi<sub>N</sub>を含む中間層

【書類名】 図面

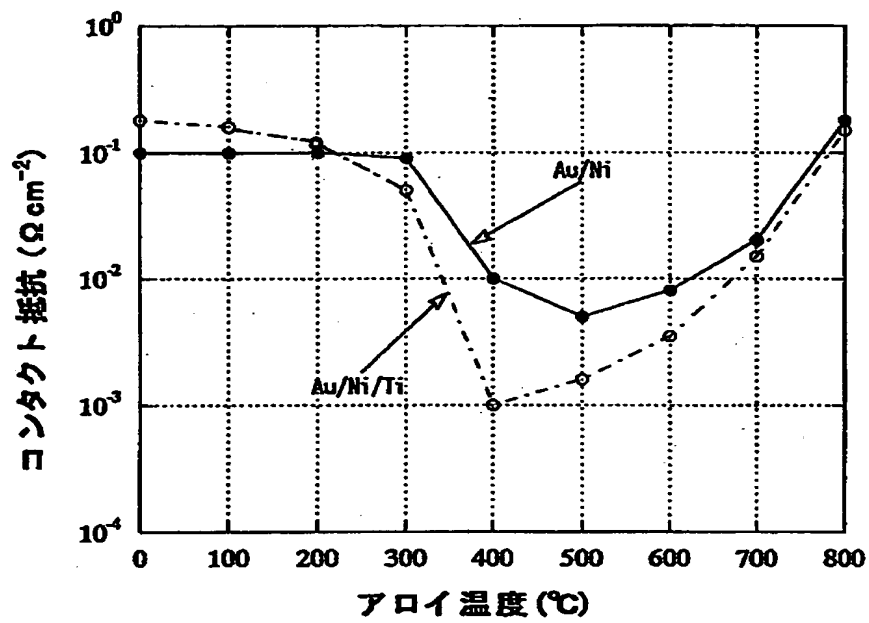
【図 1】



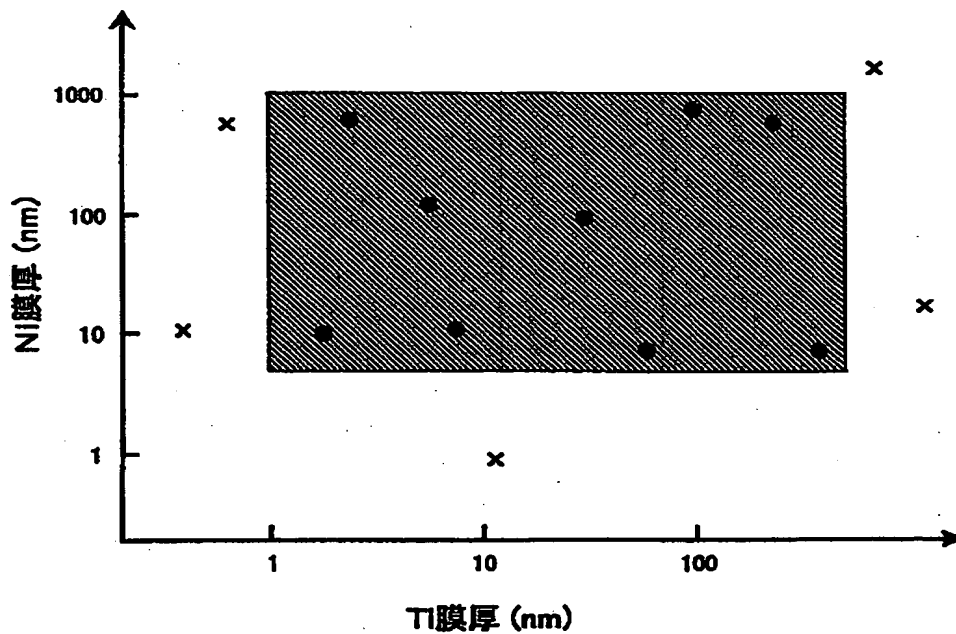
【図 2】



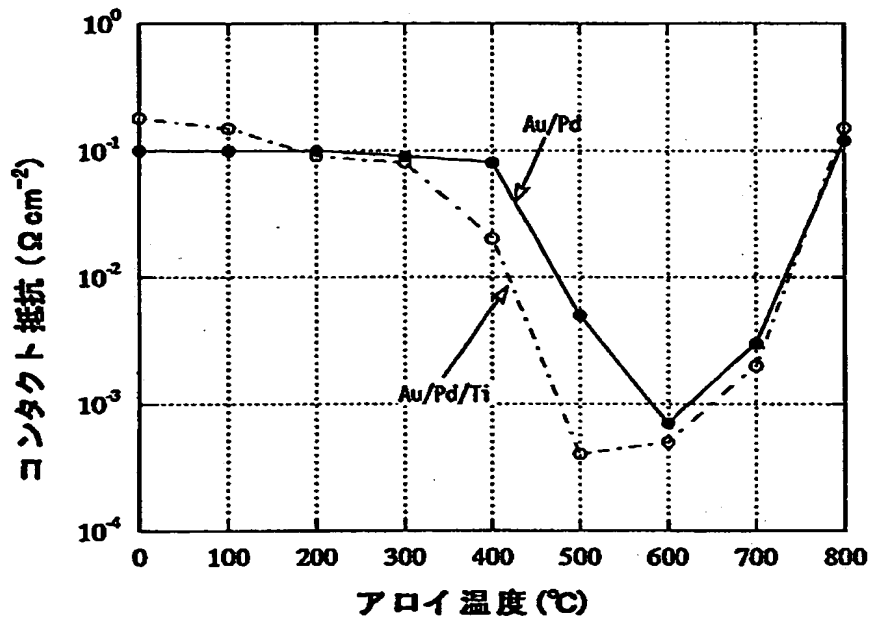
【図 3】



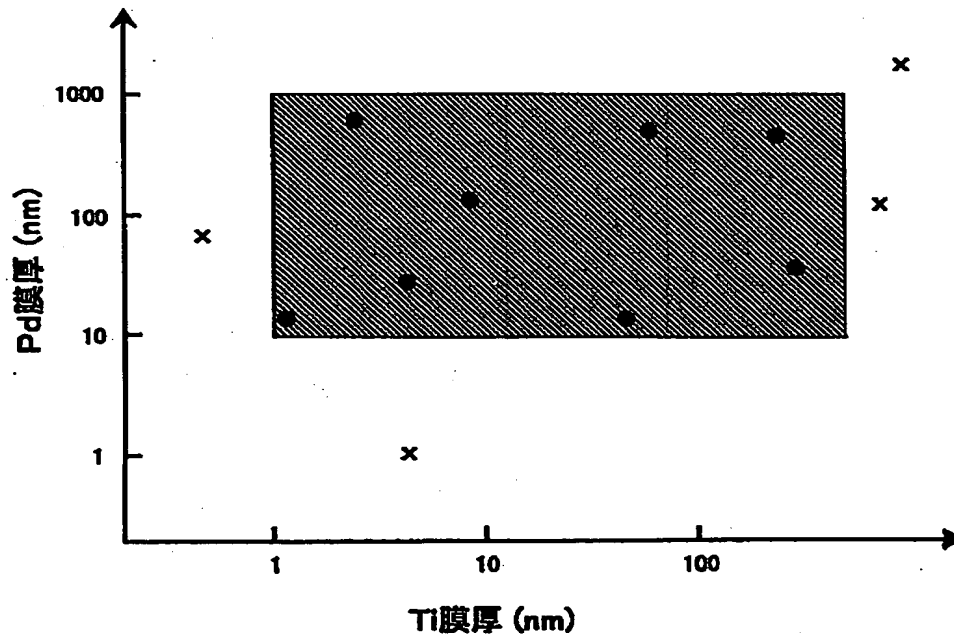
【図 4】



【図 5】

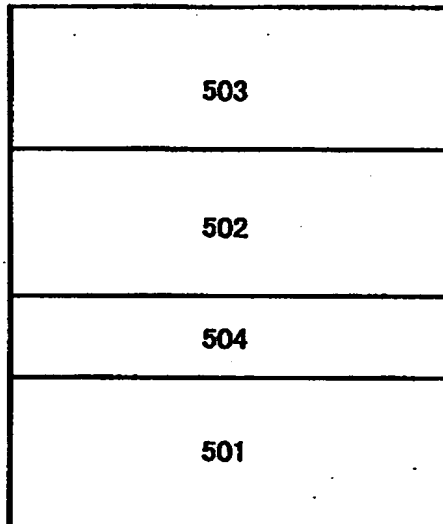


【図 6】

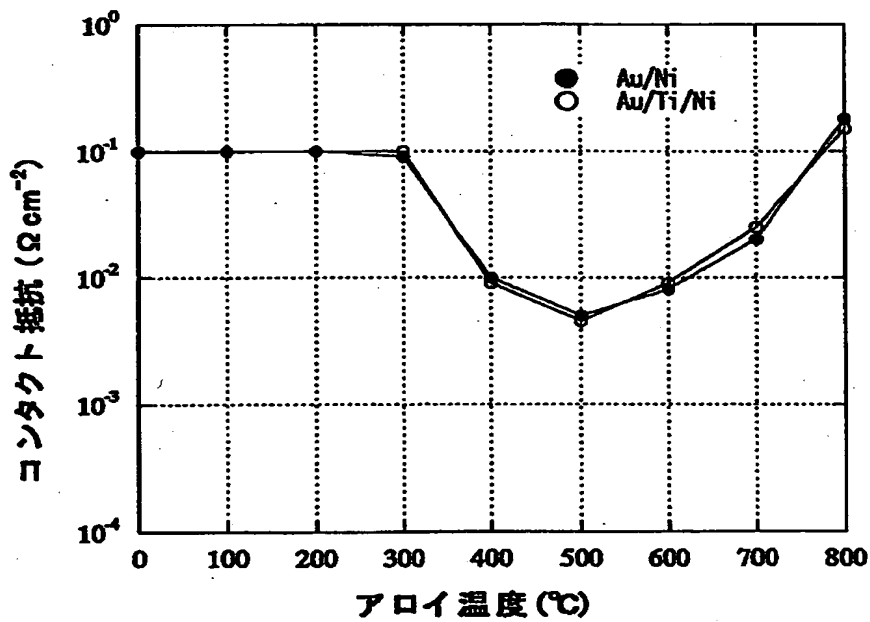




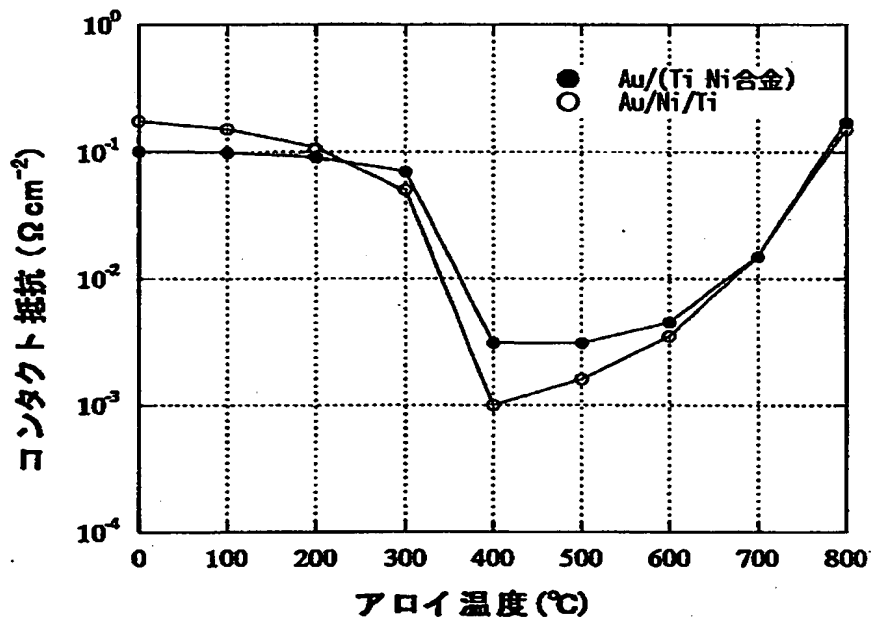
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 p型のIII族窒化物半導体層上で安定した低抵抗と高い密着強度を有する電極構造を提供する。

【解決手段】 p型のIII族窒化物半導体層上の電極構造は、その半導体層上に順次積層された第1、第2および第3の電極層(102, 103, 104)を含み、第1電極層(102)はTi, Hf, Zr, V, Nb, Ta, Cr, WおよびScからなる第1金属グループから選択された少なくとも1種類を含み、第2金属層(103)はNi, PdおよびCoからなる第2金属グループから選択された少なくとも1種類を含み、そして第3電極層(104)はAuを含むことを特徴としている。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005049]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

氏 名 シャープ株式会社